

Opinnäytetyö (AMK)

Bio -ja elintarviketekniikka

Elintarviketekniikka

2016

Jani Järvinen

STERILOINTIPROSESSIN VEDEN VIRTAUSNOPEUDEN VAIKUTUS F-ARVOJEN KEHITTYMISEEN

Jani Järvinen

STERILOINTIPROSESSIN VEDEN VIRTAUSNOPEUDEN VAIKUTUS F-ARVOJEN KEHITTYMISEEN

Sterilointiprosessin optimointia on tehty opinnäytetöinä aikaisempina vuosina Oy Lunden AB Jalostajalla. Töiden tarkoituksena on ollut seurata sterilointiprosessin toimivuutta tuoteturvallisuuden ja laadun vaatimien tavoitteiden saavuttamiseksi. Aikaisempiin töihin verrattuna autoklaaveihin on asennettu virtausmittarit, jotka mahdollistavat veden virtausnopeuden seuraamisen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on seurata veden virtausnopeuden vaikutusta f-arvojen kehittymiseen.

Sterilointiprosessin veden virtausnopeuden vaikutuksesta f-arvojen kehittymiseen toteutettiin tekemällä hernekeitto säilykkeille lämpötilamittaukset Oy Lunden Ab Jalostajan kaikista autoklaaveista. Mittaukset suoritettiin hernekeitolla, jonka tölkkikoko oli 73 x 109 mm ja paino 435 g. Sterilointiprosessi tapahtuu kolmessa vaiheessa: esilämmitys, sterilointi ja jäähdytys. Sterilointiprosessin tarkoituksena on tuhota kaikki elintarvikkeen sisältämät patogeenit bakteerit ja niiden itiöt. Mittaukset suoritettiin aikaisemmissa opinnäytetöissä määritettyjen kylmimpien paikkojen mukaan. Mittausparametrina oli lämpötilan kehittyminen ajan funktiona. Steriloinnin tehokkuuden mittarina käytetään F-arvoa, joka on aika, joka tarvitaan tuhoamaan tuotteessa mahdollisesti olevat mikrobit.

Tulokset osoittivat, että sterilointiprosessi toimii f-arvojen suhteen sille asetettujen tavoitteiden mukaisesti ja haluttu tuoteturvallisuus on saavutettu, mutta veden virtausnopeudelle ei pystytty asettamaan raja-arvoja.

ASIASANAT:

Säilykkeet, lämpösterilointi, vedenvirtausnopeus, autoklaavi, säilyvyys

Jani Järvinen

IMPACT OF WATER FLOW RATE DURING STERILIZATION PROCESS ON F- VALUE DEVELOPMENT

Sterilization process optimization has in previous years been topic of theses commissioned of Oy Lunden AB Jalostaja. The purpose has to monitor the effectiveness of the sterilization process and to achieve the objectives set for product safety and quality. In contrast to previous work and flow meters have now been installed on the autoclaves, enabling water flow rate monitoring. Thus, the purpose of this study was to monitor the impact of water flow rate on the development of F-values.

The impact of the sterilization process water flow rate on the development of F-value was performed by making of temperature measurements to canned pea soup at Oy Lunden AB Jalostaja in every autoclave. The measurements were performed with pea soup, can size 73 x 109 mm and weight 435 g. The sterilization process takes place in three stages: pre-heating, sterilization and cooling. The sterilization process is designed to destroy all pathogenic bacteria and their spores in the food. Measurements were carried out in the coldest places determined in previous theses. In the measurements, the monitored parameter was the development of temperature as a function of time. As a measure of the effectiveness of sterilization, the F-value is used, which is the time required to destroy eventual microbes in the product.

The results showed that the sterilization process reaches its objectives as regards F-values and the desired product safety is achieved. However, it was not possible to set boundary values for the water flow rate.

KEYWORDS:

canned food, heat sterilization, water flow, autoclave, shelf life

SISÄLTÖ

KÄYTETTY SANASTO	6
1 JOHDANTO	8
2 SÄILYKKEET	9
2.1 Täyssäilykkeet	9
2.2 Puolisäilykkeet	9
2.3 Veden aktiivisuus	10
3 LÄMPÖKÄSITTELY	11
3.1 Mikrobiologiset näkökohdat	11
3.2 Mikro-organismien lämmönkestävyys	12
3.3 F-arvo	16
3.4 Elintarvikkeen aistinvaraiset –ja ravitsemukselliset ominaisuudet	18
3.4.1 Koostumus, maku, väri ja aromi	19
3.4.2 Ravitsemukselliset ominaisuudet	20
3.5 Autoklaavin toimintaperiaate	21
3.6 Mittalaitteisto	24
4 STERILOINTIPROSESSIN VEDEN VIRTAUSNOPEUDEN VAIKUTUS F-ARVOIHIN	27
4.1 Mittausten suoritus	28
4.2 Mittausten tulokset	29
5 TULOSTEN ANALYSOINTI	31
LÄHTEET	34

LIITTEET

Liite 1. Autoklaavien F-arvot häkkipaikoittain

Liite 2. Dataloggerin ja autoklaavin ohjelman piirtämän lämpötilan kehittymisen vertailukäyrä

Liite 3. Keittokäyrä paineen ja lämpötilan kehittymisestä steriloinnin aikana

KUVAT

Kuva 1. Staattinen panosautoklaavi 4 häkille.	22
Kuva 2. Staattinen panosautoklaavi 5 ja 6 häkille.	22
Kuva 3. Autoklaavin rakenne. ¹³	23
Kuva 4. Sadetuslevyn toiminta. ¹⁴	24
Kuva 5. Rei'itetty muovilevy.	24
Kuvat 6. Standard SterilDisk dataloggeri 7. Probe SterilDisk dataloggeri. ¹³	25
Kuva 8. Disk Interface-lukijalaite. ¹³	25
Kuva 9. SPD-ohjelmiston lämpötilakäyrä. ¹³	26
Kuva 10. Tölkkien kylmät paikat kiinteälle ja nestemäiselle tuotteelle.	28
Kuva 11. Loggereiden paikat häkissä, kuvattu ylhäältäpäin.	29

KUVIOT

Kuvio 1. Mikro-organismien selviytymiskäyrä lämmitysajan funktiona. ⁸	13
Kuvio 2. Mikrobipopulaation lämmönkestävyyskäyrä ⁸	14
Kuvio 3. Mikrobipopulaation lämpökuolleisuuskäyrä. ⁸	15
Kuvio 4. Terminen kuolleisuuskäyrä. ⁴	17
Kuvio 5. F-arvo lämpötilan funktiona. ⁴	18
Kuvio 6. Autoklaavin 3 virtausnopeudet ja F-arvot sterilointiajan funktiona.	32
Kuvio 7. Autoklaavin 4 virtausnopeudet ja F-arvot sterilointiajan funktiona.	32

TAULUKOT

Taulukko 1. Yleisimpien itiöitä muodostavien bakteereiden lämmönkestävyydet. ²	16
Taulukko 2. Elintarvikkeiden ravitsemuksellisten ja aistivaraisten komponenttien lämpöominaisuuksia suhteessa kuumuutta kestäviin entsyymeihin ja bakteereihin. ²	19
Taulukko 3. Vitamiinien häviö purkitetuissa ja tölkitetyissä elintarvikkeissa. ²	21
Taulukko 4. Autoklaavin 3 lämpötila, virtausnopeus ja f-arvo.	30
Taulukko 5. Autoklaavin 4 lämpötila, virtausnopeus ja f-arvo.	30

KÄYTETTY SANASTO

Anaerobinen	hapeton olosuhde ¹⁰
Autoklaavi	kannella ilmatiiviisti suljettava paineastia, jossa aineita kuumennetaan tavallisesti höyryllä. Höyryautoklaavin toiminta perustuu korkeaan lämpötilaan, riittävään käsittelyaikaan, ylipaineeseen sekä kylläiseen vesihöyryyn
Bakteeri	yksisoluinen tumaton (esitumainen) pieneliö eli mikro-organismi ¹¹
Denaturoituminen	proteiininrakenteen tuhoutuminen ¹⁰
Eksotoksiini	on esim. bakteerin itiöiden muodostamaa toksinia eli hermostomyrkkyä ¹⁰
Entsyymi	ovat proteiineja, jotka toimivat biologisina katalyytteinä kemiallisissa reaktioissa ⁵
Gelatiini	liivate, eläinten siduskudoksista keittämällä erottuva valkuaisaine ¹²
Gelatisaatio	hyttelöityminen ¹⁰
Hemiselluloosa	polysakkarideista koostuva heteropolymeeri, jota esiintyy kasvin soluseinämissä ¹⁰
Hermeettinen	ilmatiivis ¹²
Mikro-organismi	yleisnimitys mikroskoopilla näkyville eliöille, esim. bakteeri ¹⁰
Hydrolyysi	aineiden kemiallinen hajoaminen tai hajottaminen siten, että vesimolekyyli osallistuu reaktioon ²¹
Inaktivoida	tehdä tehottomaksi ¹²
Koaguloituminen	saostua, hyytyä ¹⁰
Komponentti	kokonaisuuden osa, rakenneosaa ¹²
Kontaminaatio	saastuminen ¹⁰
Kollageeni	sidekudoksen säiemäinen tukivalkuaisaine ¹²
Korroosio	esineen kemiallinen vaurioituminen tai syöpyminen esim. raudan ruostuminen ¹²
Lepoitiö	on bakteerin tai sienen tuottama itiö. Paksujen soluseinien takia niillä on suuri lämmönkestävyys ja ne selviytyvät anaerobisissa olosuhteissa ¹²

Lipidi	rasva-aineet. Solujen rasva-aineista suuri osa perustuu rasvahappojen sitoutumiseen kahteen tai kolmeen glyserolin hydroksyyliiryhmään. Tällaisia lipidejä ovat muun muassa mono, di- ja triasyyliglyserolit sekä fosfolipidit ¹²
Lämmönvaihdin	laite jota käytetään lämmön siirtämiseen esim. kaasusta metalliseinämän takaiseen nesteeseen
Metabolia	Solun aineenvaihdunta eli metabolia kytkee lukemattomat kemialliset reaktiot solun toiminnan kannalta järkeväksi kokonaisuudeksi ¹⁰
Mikrobi	Mikro-organismit eli mikrobit ovat yksinkertaisia, yleensä yksisoluisia, erilaistumattomia eliöitä, jotka eivät näy paljain silmin. Mikrobeihin kuuluvat bakteerit, levät, alkueläimet, hiivat, homeet ja virukset ¹⁰
Pastörointi	Elintarvikkeen säilyvyyttä ja turvallisuutta parannetaan tuhoamalla mahdolliset tautia aiheuttavat mikrobit kuumentamalla. Pastöroinnissa maito tai muu nestemäinen tuote kuumennetaan vähintään +72 °C:n lämpötilaan 15 sekunnin ajaksi ja jäähdytetään välittömästi ¹²
Patogeeni	sairautta aiheuttava pieneliö ¹²
Pektiiniaine	selluloosan kaltaisia polysakkarideja ¹⁰
Sterilointi	käsittely, jolla pyritään tuhoamaan kaikki mikrobit ja niiden itiöt steriloitavasta asiasta
Staattinen	paikallaan pysyvä, tasapainossa tai liikkumatta oleva ¹²
Synteettinen	keinotekoisesti valmistettu ¹²
Veden aktiivisuus	aw, joka tarkoittaa vapaan veden määrää elintarvikkeessa. Mitä enemmän vesi on sitoutunut esim. suoloihin, sokereihin, sitä pienempi on veden aktiivisuus ja sitä huonompi on mikrobin kasvuympäristö ⁷

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia miten veden virtausnopeus vaikuttaa F-arvojen kehittymiseen ja mitkä ovat veden virtausnopeuden kriittisiä pisteitä suhteessa steriloinnin onnistumiseen, jotta tuote täyttää sille asetetut vaatimukset.

Aikaisemmissa opinnäytetöissä (2012 ja 2014), joissa suoritettiin sterilointiprosessin optimointia, määritettiin autoklaavien kylmät ja kuumat paikat. Tässä opinnäytetyössä Oy Lunden AB Jalostajalla käytettiin aikaisempien opinnäytetöiden määrittämiä kylmiä paikkoja. Mittaukset suoritettiin jokaisen autoklaavin ensimmäisestä ja viimeisestä häkistä.

Lämpösterilointi on yksikköoperaatio, jossa elintarvike lämmitetään riittävän korkealla lämpötilalla riittävän kauan aikaa, jotta saadaan tuhottua mikrobiologinen ja entsymaattinen aktiivisuus. Lämpösterilointi vaikuttaa elintarvikkeen ravitsemuksellisiin ja aistivaisiin aistimuksiin, joten steriloinnin aiheuttamia ravitsemuksellisia ja aistittavia vahinkoja elintarvikkeessa pyritään vähentämään, joko pienentämällä prosessin kuluttamaa aikaa tai aseptisella pakkaamisella.

Aikaisempien opinnäytetöiden seurauksena sterilointiaikaa saatiin vähennettyä 20 minuuttia. Tässä opinnäytetyössä suoritettiin myös sterilointiajan optimointia ja mahdollisuutta tehostaa sterilointiprosessia.

Oy Lunden AB Jalostaja on OY Lunden AB tytäryhtiö, joka valmistaa monipuolisia elintarvikkeita ja sen tunnettuja brändejä ovat Jalostaja, Auran maustaminen ja Auran Siinäppi. Omien brändien lisäksi valmistuksessa on sekä kauppojen omia merkkejä että toimintaa muiden elintarvikeyritysten alihankkijana.

Opinnäytetyössä vertailukohtana pidetään aikaisempia opinnäytetöitä ja tuloksia verrataan niiltä osin kuin se on mahdollista. Mittalaitteisto on hieman erilainen kuin aikaisemmillä kerroilla, joten tulokset olivat aika tavalla erilaisia.

2 SÄILYKKEET

Säilykkeet ovat elintarvikkeita, joita on käsitelty eri tavoin takaamaan niiden säilyvyys pitkäksi aikaa. Säilykkeet ovat ilmantiiviitä, kestäviä lasi- tai metallitölkkeihin suljettuja hyvin säilyviä tuotteita. Säilykkeet voivat olla joko sellaisenaan tai kuumentamalla valmista syötävää. Säilykkeet voidaan jakaa täyssäilykkeisiin ja puolissäilykkeisiin.¹⁶

Lämpökäsittely parantaa elintarvikkeiden säilyvyyttä, koska kuumennuskäsittelyllä tuhoaan elintarvikkeessa jo olevia mikrobeja. Elintarvikkeen sisältämä sokeri ja suola sitovat vesimolekyyliä. Kun vesiaktiivisuus alenee, mikrobien kasvumahdollisuudet heikkenevät.

2.1 Täyssäilykkeet

Täyssäilykkeet ovat steriloituja säilykkeitä, joissa mikrobi- ja entsyymitoiminta on tuhottu kuumentamalla tuotteet 120 asteeseen vähintään 15 minuutiksi ja pakkaamalla ne hermeettisesti metallitölkkeihin. Täyssäilykkeissä ei käytetä säilöntäaineita. Ne säilyvät avaamattomina huoneenlämpötilassa vähintään 12 kuukautta. Säilyketölkkin etiketissä pitää kuitenkin olla "parasta ennen" merkintä. Paras säilytyslämpötila on noin 15 asteissa kuivassa paikassa.¹⁶

Tölkkejä täytyy suojella kolhiintumiselta ja jäätymiseltä ja avatussa tölkissä tuotetta ei pidä säilyttää, vaan sisältö on siirrettävä esim. muovirasiaan ja säilytettävä jääkaapissa. Täyssäilykkeitä ovat mm. tölkkiherneet, sardiinit ja tonnikalat, erilaiset hedelmäsäilykkeet ja ruokasäilykkeet.¹⁶

2.2 Puolisäilykkeet

Puolisäilykkeet ovat yleensä pastöroituja, voivat olla myös pastöroimattomia, lasipurkeihin pakattuja valmisteita. Tuotteiden säilyvyys varmistetaan käyttämällä säilöntäaineita, sekä lisäksi suolaa, sokeria, mausteita ja happoja (kuten etikkaa).¹⁶

Puolisäilykkeiden säilyvyysaika on noin 6 - 12 kk. Tölkin etiketissä on "parasta ennen" tai "viimeinen käyttöpäivä" merkintä. Puolisäilykkeet on säilytettävä alle 10 asteen lämpötilassa ja avattuina aina jääkaapissa.¹⁶

Puolisäilykkeitä ovat mm. silli- ja anjovissäilykkeet, punajuuri- ja kurkkusäilykkeet ja saatinkastikkeet.¹⁶

2.3 Veden aktiivisuus

Elintarvikkeessa olevan veden määrän avulla voidaan arvioida jotain veden aiheuttamia kemiallisia reaktioita, mutta elintarvikkeiden moninaiset kemialliset yhdisteet tekevät veden prosentillisen laskemisen vaikeaksi, joten veden aktiivisuutta käytetään arvioimaan, miten vesi vaikuttaa elintarvikkeiden kemiallisiin reaktioihin. Veden aktiivisuudella, pH:lla, hapella ja hiilidioksidilla, tai kemiallisilla säilöntäaineilla on tärkeä vaikutus mikrobikasvuston estämisessä. Kun mikro-organismeilla on optimaaliset kasvuolosuhteet, niin alennetulla veden aktiivisuudella on korostunut vaikutus mikrobien kasvuun.^{2, 8}

Elintarvikkeissa säilyvyyteen tärkeämpi tekijä on elintarvikkeiden veden aktiivisuus kuin sen vesipitoisuus. Veden aktiivisuudella tarkoitetaan vettä, joka on vapaata mikrobien käytettäväksi. Vettä sitovien yhdisteiden käyttöä rajoittavat usein tuotteen laatuominaisuudet, sillä useat vettä sitovat yhdisteet vaikuttavat myös tuotteen makuun ja rakenteeseen.^{6, 9}

Vettä sitovia, makuun vaikuttavia yhdisteitä ovat mm. sokerit (kuten sakkaroosi, fruktoosi, glukoosi), polyolit (kuten sorbitoli, glyseroli, ksylitoli), suolat, hapot ja emäkset. Kun taas rakenteeseen ja suutuntumaan vaikuttavia, vettä sitovia yhdisteitä ovat mm. polysakkaridit ja proteiinit (esim. gelatiini).^{6, 9}

3 LÄMPÖKÄSITTELY

Lämpökäsittely yleisesti käsittää ilmatiiviisti pakattujen elintarvikkeiden lämmittämisen ennalta määrätyn ajan ja ennalta määrätyn lämpötilan mukaan. Tämän tarkoituksena on tuhota patogeeniset mikrobit, jotka vaarantavat terveyttä kuin myös ne mikrobit ja entsyymit, jotka heikentävät elintarviketta säilönnän aikana.⁸

Lämpökäsittelyn tarkoituksena ei ole tuhota kaikkia mikro-organismeja elintarvikkeissa. Tämän kaltaisen prosessin tuloksena olisi laadultaan huono elintarvike, koska siihen vaadittaisiin pitkä lämmitysprosessi. Sen sijaan, hermeettisesti pakattujen elintarvikkeiden patogeenit mikro-organismit tuhoetaan ja pakkaukseen luodaan sellainen ympäristö, ettei pilaantumista aiheuttavat mikro-organismit pysty siinä kasvamaan.⁸

Lämpöprosessoinnin tärkeimpänä yksittäisenä arvona on pH. Elintarvikkeet jaetaan happamiin ja matalahappoisiin elintarvikkeisiin. Tärkeä rajapiste on pH 4,5, jolloin ruokamyrkytystä aiheuttavat organismit, kuten *Clostridium Botulinum*, asettavat lämpöprosessille ankarat vaatimukset. Lämpökäsittelyä yli 100 °C kutsutaan steriloinniksi, mutta se antaa väärän kuvan, koska se viittaa täydelliseen mikrobikasvuston puutumiseen. Näin ollen parempi termi on kaupallisesti steriili, joka kuvaa mikro-organismien merkittävää inaktiivointia ja itiöiden mahdollisuutta kasvaa elintarvikkeissa varastoinnin aikana. Eli kaupallisesti steriili elintarvike takaa riittävän aleneman mikrobipopulaatiossa.²

On muitakin mikro-organismeja, joilla on parempi lämmönkestävyys kuin *C. Botulinumilla*. Tällaisia ovat esim. *Bacillus stearothermophilus*, *B. thermoacidurans* ja *C. thermosaccolyticum*. Luonnossa nämä mikro-organismit ovat termofiilisiä, optimaalinen kasvulämpötila 50-55 °C, joten näistä ei ole paljon huolta, jos varastointi lämpötila on alle 30 °C.⁸

3.1 Mikrobiologiset näkökohdat

Mikrobiologisesti turvalliseen tuotteeseen lämpökäsitellyissä elintarvikkeissa vaikuttavat, niin lämpötila kuin lämpökäsittelyprosessin kesto. Liian vähän lämpökäsitellyt ruuat ovat alttiita bakteerien aiheuttamalle pilaantumisille, kun taas yli prosessoidut ruuat ovat ravitsemuksellisesti ja aistivaraisesti huonompia. Parametrit sopivaa lämpökäsittely pro-

sessia varten voidaan arvioida sen perusteella, mitkä ovat patogeenisten mikrobien lämmön kestävyys, laadun heikkenemisen kinetiikka ja ruuan prosessoinnin aikana tapahtuvien lämpötilojen vaihteluiden tuntemus.⁸

3.2 Mikro-organismien lämmönkestävyys

Lämpökäsittelyn vaikutukset elintarvikkeiden säilyvyyden takaamiseen johtuvat proteiinien denaturoitumisesta. Proteiinien denaturoituminen tuhoaa entsyymien aktiivisuuden ja entsyymien hallitseman metabolian mikro-organismeissa. Tuhoutumisnopeus on ensimmäisen kertaluvun reaktio; kun elintarvike lämmitetään riittävän korkeaan lämpötilaan, joka tuhoaa kontaminaatiota aiheuttavat mikro-organismit, niin vastaava prosenttimäärä kuolee annetussa aikavälissä riippumatta niiden alkuperäisestä lukumäärästä. Eli, jos elintarvike sisältää 40 % kontaminaatiota aiheuttavia mikrobeja, niin 40 % kuolee ja 90 % kontaminaatiota aiheuttavia mikrobeja sisältävissä elintarvikkeissa 90 % kuolee. Tätä kutsutaan logaritmiseksi kuolleisuudeksi (eng. logarithmic order of death).²

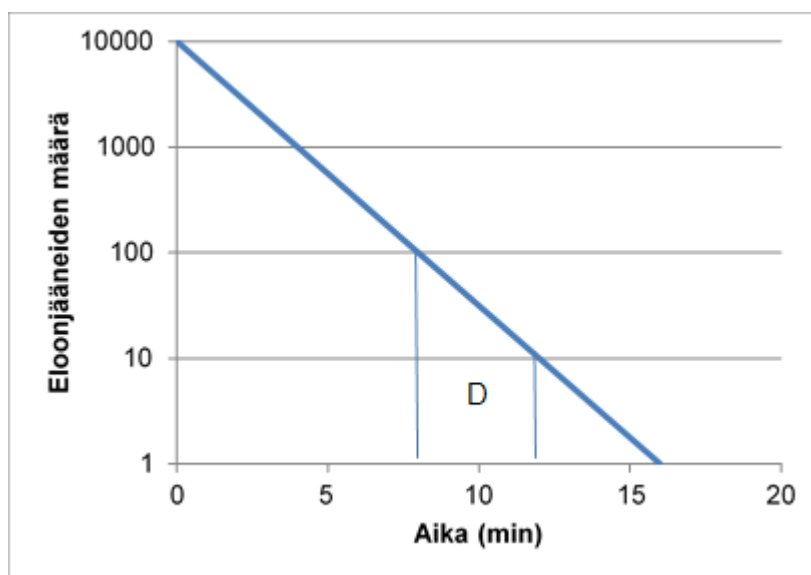
Prosessin ensimmäisenä tehtävänä on tunnistaa ja nimetä eniten lämpöä kestävät mikro-organismit ja entsyymit, jotka vaikuttavat prosessin kulkuun. Seuraavaksi määritetään lämmönkestävyys testi mikrobeilla, normaalisti vallitsevissa olosuhteissa. Jotta prosessissa voidaan käyttää lämpökäsittelystä saatavaa tietoa, täytyy prosessista tehdä mallinnus. Sen lisäksi, mikrobien tuhoutumisasteen riippuvuus lämpötilasta yhdistettynä koko lämpökäsittelyprosessissa tapahtuvaan mikrobien tuhoutumiseen.⁸

Mikro-organismien lämmönkestävyyteen vaikuttavia tekijöitä on paljon, mutta kaikkia muuttujia ei ole mahdollista tunnistaa. Tärkeitä tekijöitä kuitenkin ovat mikro-organismien tyyppi, inkubointi olosuhteet ja lämpökäsittelyn aikaiset olosuhteet, kuten pH, veden aktiivisuus ja ruuan koostumus.²

Clostridium botulinum on vaarallisin kuumuutta kestävä, itiöitä muodostava patogeeni, jota esiintyy matalahappoisissa elintarvikkeissa. Suljetuissa purkeissa, anaerobisissa olosuhteissa, se voi muodostaa voimakasta eksotoksiinia, hermomyrkkyä, ja sitä varten sen tuhoaminen on vähimmäisvaatimus lämpösteriloinnissa. Entsyymien ja mikro-organismien lämmönkestävyyttä kuvataan D -ja Z -arvojen avulla.²

3.3 Selviytymiskäyrä ja D-arvo

Mikro-organismien lämmön aiheuttama tuhoutuminen esitetään logaritmisella kuolleisuus käyrän avulla. Eli, lämpökäsittely tietyssä lämpötilassa ajan funktiona antaa selviytyvien mikro-organismien (eng. survivor curve) osalta suoran viivan (kuvio 1). Mikrobin tuhoutumisastetta määritetyssä lämpötilassa kuvataan D-arvon avulla (eng. decimal reduction time). Se on aika minuuteissa, joka vaaditaan tuhoamaan yksi logaritminen sykli eli 90 % elossa olevasta mikrobipopulaatiosta. D-arvo on erilainen mikrobilajista riippuen, ja korkeampi D-arvo osoittaa suurempaa lämmönkestävyyttä. Taulukossa 1 on esitetty esimerkkejä eri mikro-organismien lämmönkestävyydestä. Graafisesti esitettynä se osoittaa ajan jakson, jolloin selviytymiskäyrä menee läpi yhden logaritmisen syklin (kuvio 1).^{2,8}



Kuvio 1. Mikro-organismien selviytymiskäyrä lämmitysajan funktiona.⁸

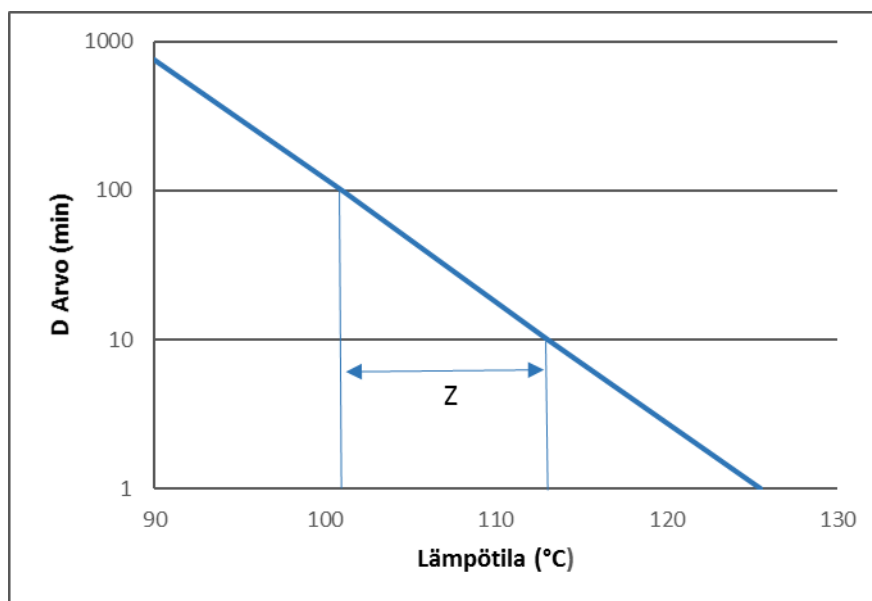
Matemaattisesti se voidaan esittää:

$$D = (t_2 - t_1) / [\log(a) - \log(b)],$$

jossa a ja b ovat selviytyvien mikrobin määrä ja vastaavasti t1 ja t2 ovat ajan määreitä.⁸

3.4 Lämpötilan riippuvuus ja Z-arvo

D-arvo riippuu suuresti lämpötilasta, korkeampi lämpötila antaa pienemmän D-arvon. D-arvojen lämpötilan havainnollistamiseksi käytetään lämmönkestävyyskäyrää (eng. thermal resistance curve) piirtämällä logaritminen D-arvo lämpötilan suhteen (kuvio 2). Lämpötilan herkkyyttä osoittamaan on määritetty Z-arvo, joka on lämpötila-alue, josta tuloksena on D-arvon yksi logaritminen sykli eli millä lämpötila-alueella saadaan tuhottua 90 % elossa olevasta mikrobipopulaatiosta. Reaktiot, joilla on pieni Z-arvo ovat suuresti lämpötilasta riippuvaisia. Reaktiot, joilla on suuri Z-arvo, niin vaativat suuremmat lämpötilan vaihtelut alentaakseen reaktion aikaa.⁸



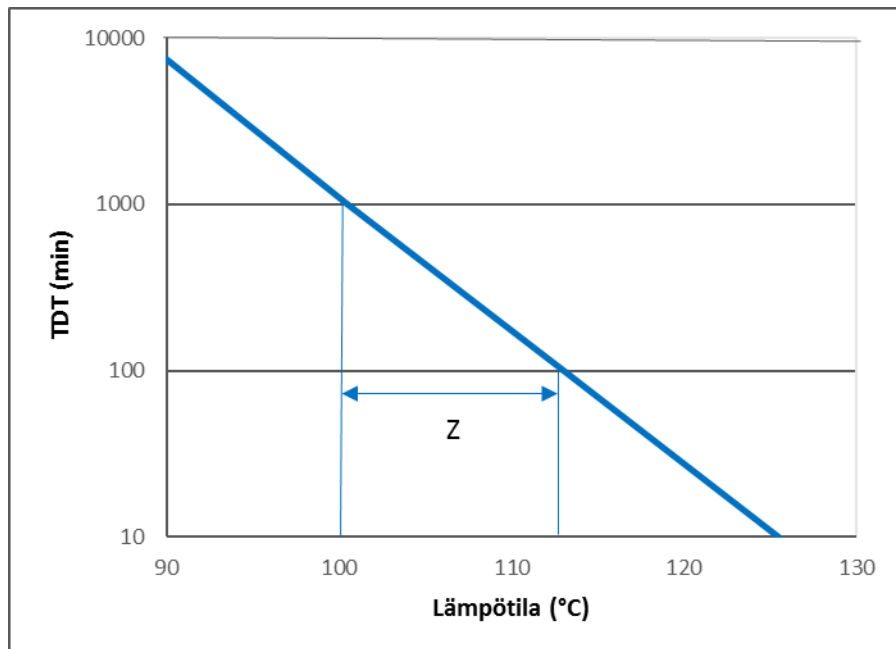
Kuvio 2. Mikrokipopulaation lämmönkestävyyskäyrä⁸

Matemaattisesti se voidaan esittää:

$$z = (t_2 - t_1) / [\log(D_1) - \log(D_2)],$$

jossa D_1 ja D_2 ovat D-arvoja T_1 ja T_2 lämpötilassa

Mikro-organismit ovat lämpötilasta riippuvaisia; solut kuolevat nopeammin korkeammassa lämpötilassa. Vertaillessa D-arvoja erilaisissa lämpötiloissa, käytetään termistä kuolleisuus aikaa (eng. thermal death time (TDT)) (kuvio 3). TDT käyrän slope on nimetty Z-arvoksi, ja se kuvaa lämpötilan muutosta, jota tarvitaan D-arvon kymmenkertaistamiseksi. Vertaillessa TDT-arvoa D-arvoon, niin huomataan, että TDT-arvo riippuu alkuperäisestä mikrobipopulaation määrästä, kun taas D-arvo ei. Joten käytettäessä vakio mikrobipopulaation määrää tai määrän vähentymistä, niin se voidaan esittää D-arvon kerrannaisena, eli D-arvon yksikössä. Kaavalla $TDT = nD$, jossa n on kymmenysten vähentymisen määrä.^{2, 8}



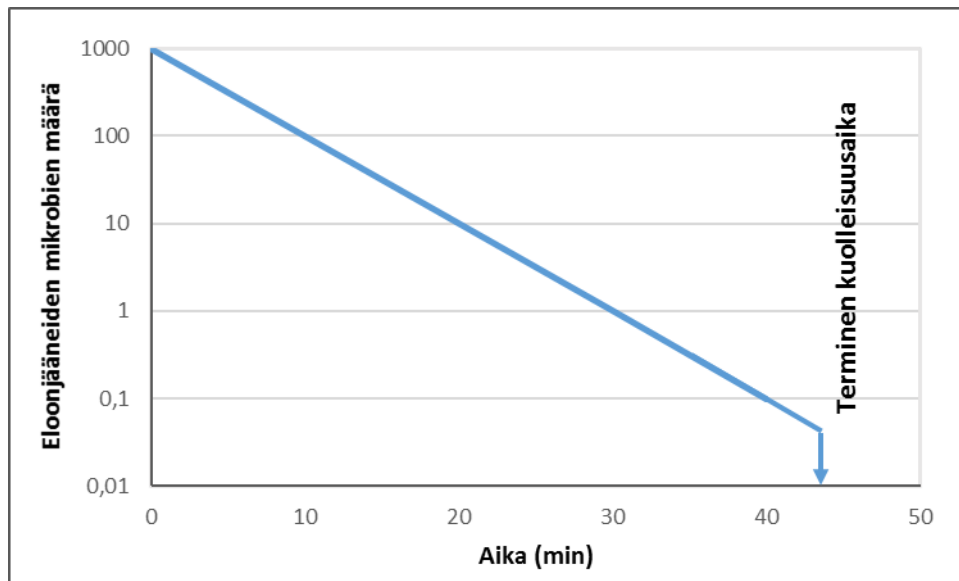
Kuvio 3. Mikrobipopulaation lämpökuolleisuuskäyrä.⁸

Taulukko 1. Yleisimpien itiöitä muodostavien bakteereiden lämmönkestävyydet. ²

Mikro-organismi	Z arvo (°C)	D ₁₂₁ arvo (min)	Tyypillinen elintarvike
Thermophilic (35-55 °C)			
Bacillus stearothermophilus	10	40	Vegetables, milk
Clostridium Thermosaccharolyticum	7,2-10	3,0-4,0	Vegetables, milk
Mesophilic (10-40 °C)			
Clostridium sporogenes	8,8-11,1	0,8-2,5	Meats
Bacillus subtilis	4,1-7,2	0,5-0,76	Milk products
C. botulinum toxins A and B	5,5	0,1-1,3	Low-acid foods
Psychrophilic (-5-1,5 °C)			
C. botulinum toxin E	10	3,0 (60 °C)	Low-acid foods

3.3 F-arvo

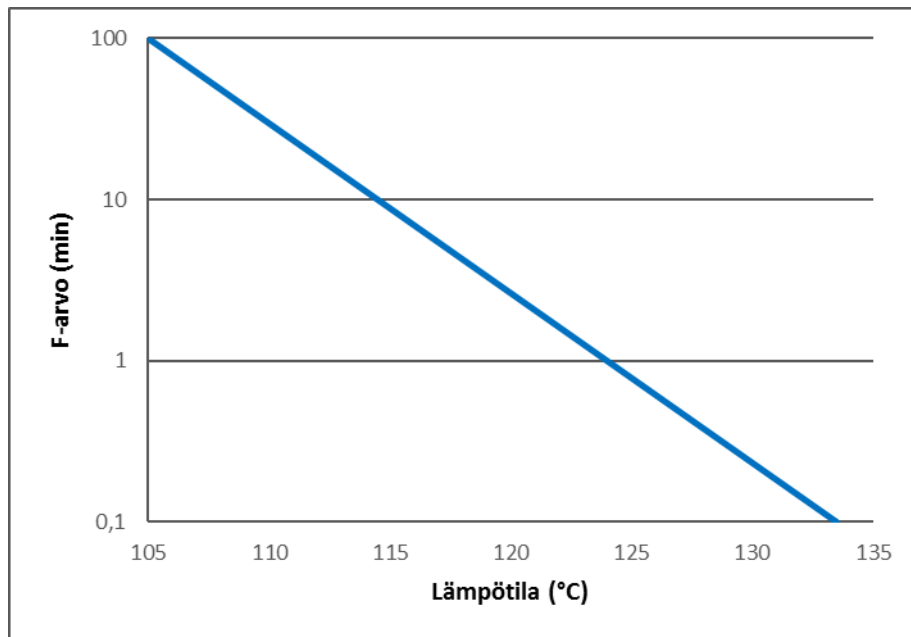
F-arvoa käytetään mittaamaan sterilointiprosessin suhteellista tehokkuutta. Vertaillen eri lämpöprosesseja ja sterilointikapasiteetteja, täytyy prosesseille määrittää oma kuolleisuutta kuvaava yksikkö (eng. Lethality). Näin ollen on määritetty 1 min lämmitys vertailu- lämpötilassa (121,1 °C) vastaamaan F-arvoa 1. Referenssi F-arvo f_0 kertoo, kuinka monta minuuttia tarvitaan tuhoamaan tunnettu mikrobikanta kyseisessä elintarvikkeessa määrätyissä olosuhteissa. Kuviossa 4 on esitetty mikro-organismien terminen kuolleisuuskäyrä. Kuviosta näkyy koko mikrobipopulaation vähentyminen, eloonjääneiden mikrobien osalta, määritettyyn tasoon asti. Tätä pistettä kutsutaan termiseksi kuolleisuusajaksi.^{4, 7, 8}



Kuvio 4. Terminen kuolleisuuskäyrä. ⁴

Sterilointiprosessin määrittämiseen voidaan käyttää joko TDT tai F -arvoa, määrittämään aika, joka tarvitaan mikro-organismien tuhoaminen hyväksyttävälle tasolle. Joten, F -arvot voidaan ilmaista myös D -arvojen kerrannaisina, eli F -arvo pystytään ilmoittamaan D -arvon yksiköissä. ¹⁵

Oy Lunden AB Jalostajalla käytetään F -arvoa mittaamaan steriloinnin tehokkuutta, ja koska *C. botulinum* on terveyden kannalta vaarallisin mikro-organismi, niin vähimmäisvaatimuksena on tuhota tämän organismin itiöt, niinpä F_0 -arvo edustaa prosessin aikaa, joka tarvitaan 12D alenemaan *C. botulinum* mikrobipopulaatiossa 121,1 °C. Näin ollen F_0 -arvo *C. botulinum* ($D_{121,1} = 0,21$ min) osalta on $12 \cdot 0,21$ min eli 2,52 min. Tämä tarkoittaa tuotteen sterilointia 121,1 °C:ssa vähintään 2,52 minuuttia. F_0 -arvon suhde kaupallisesti steriiliin F_0 -arvon vaatimalle tasolle tunnetaan nimellä kuolleisuus (eng. Lethality). Siispä säilyvyyden takaamiseksi useiksi vuosiksi huonelämpötilassa on F_0 -arvoksi Oy Lunden AB Jalostajalla määritetty 10, koska halutaan varmistaa kuluttajille turvallinen elintarvike. Kuviossa 5 nähdään F -arvon kehittyminen lämpötilan funktiona. ¹⁵



Kuvio 5. F-arvo lämpötilan funktiona. ⁴

3.4 Elintarvikkeen aistinvaraiset –ja ravitsemukselliset ominaisuudet

Kuluttajille tärkeimpänä ominaisuutena ovat aistinvaraiset ominaisuudet (koostumus, flavori, aromi, muoto ja väri). Näiden ominaisuuksien mukaan kuluttajat valitsevat eri brändien tuotteista itselleen parhaiten sopivat tuotteet. Elintarviketeollisuuden päämääränä onkin valmistaa tuotteita, jotka ovat aistinvaraisilta ominaisuuksiltaan mahdollisimman houkuttelevia, sekä vähentää prosessoinnin aiheuttamaa elintarvikkeen laadun heikkenemistä.²

Vitamiinien, aromiyhdisteiden ja pigmentin tuhoutuminen lämmön vaikutuksesta on samanlainen ensimmäisen kertaluvun reaktio kuin mikrobin tuhoutuminen (taulukko 2). Tuloksena on, että ravitsemukselliset –ja aistinvaraiset ominaisuudet säilyvät paremmin käytettäessä korkeampia lämpötiloja ja lyhyempiä prosessointi aikoja. ²

Taulukko 2. Elintarvikkeiden ravitsemuksellisten ja aistivaraisten komponenttien lämpöominaisuuksia suhteessa kuumuutta kestäviin entsyymeihin ja bakteereihin. ²

Komponentti	Lähde	pH	Z (°C)	D ₁₂₁ (min)	Lämpötila-alue (°C)
Thiamin	Carrot puree	5,9	25	158	109-149
Thiamin	Pea puree	Natu- ral	27	247	121-138
Thiamin	Lamb puree	6,2	25	120	109-149
Lysine	Soya bean meal	-	21	786	100-127
Chlorophyll a	Spinach	6,5	51	13	127-149
a	Spinach	Natu- ral	45	34,1	100-130
Chlorophyll b	Spinach	5,5	79	14,7	127-149
b	Spinach	Natu- ral	59	48	100-130
Anthocyanin	Grape juice	Natu- ral	23,2	17,8*	20-121
Betanin	Beetroot juice	5	58,9	46,6*	50-100
Carotenoids	Paprika	Natu- ral	18,9	0,038*	52-65
Peroxidase	Peas	Natu- ral	37,2	3	110-138
Peroxidase	Various	-	28-44	-	-
<i>Clostridium botulinum</i> spores type A+B	Various	> 4,5	5,5-10	0,1-0,3*	104
<i>Bacillus Stereothermophilus</i>	Various	> 4,5	7,0- 12,0	4,0 - 5,0	110 +

* D-arvot muuta kuin 121 °C

3.4.1 Koostumus, maku, väri ja aromi

Elintarvikkeen koostumus määritetään pääsääntöisesti kosteuden, rasvan pitoisuuden, hiilihydraattien (selluloosa, tärkkelys ja pektiiniaineet) ja proteiinien mukaan. Koostumuksen vaihtelut elintarvikkeissa johtuvat veden tai rasvan puutteesta, emulsion hajoamisesta, hiilihydraattien hydrolyysistä, ja proteiinien koaguloitumisesta tai hydrolyysistä. ²

Maku ominaisuudet käsittävät suolaisuuden, makeuden, katkeruuden ja happamuuden. Nämä ominaisuudet määritetään elintarvikkeen teko vaiheessa, eikä prosessoinnilla ole näihin ominaisuuksiin paljon vaikutusta. Jotain poikkeuksia on, kuten aromin muutokset

tuoreissa elintarvikkeissa ja happamuuden ja makeuden muutokset ruokien fermentoinnin aikana. ²

Monet luonnollisesti esiintyvät pigmentit tuhoutuvat lämpökäsittelyn seurauksena. Prosessoitujen elintarvikkeiden luonteenomainen väri voi hävitä ja näin ollen menettää arvoaan kuluttajalle. Synteettiset väriaineet kestävät paremmin lämpöä, valoa ja pH:n muutosta ja siitä syystä niitä lisätään joihinkin elintarvikkeisiin säilyttämään niiden luontainen pigmenttinsä. ²

3.4.2 Ravitsemukselliset ominaisuudet

Lämpökäsittelyllä on merkittävä ravitsemuksellinen vaikutus elintarvikkeisiin. Esimerkiksi tärkkelysten gelatinisoituminen ja proteiinien koaguloituminen vaikeuttaa niiden sulavuutta elimistössä, ja anti-ravitsemukselliset yhdisteet, kuten palkokasvien trypsiinit tuhoutuvat. Lämpö myös tuhoaa hapelle herkkiä, sekä lämmölle herkkiä vitamiineja (c-vitamiini ja tiamiini), vähentää proteiinien biologista arvoa ja edistää rasvojen hapettumista. ²

Hapettuminen on tärkeässä roolissa elintarvikkeiden ravitsemuksellisissa vaihteluissa. Hapettumista tapahtuu, kun elintarvike on kosketuksissa ilman kanssa tai lämmön ja oksidoivien entsyymien (peroksidaasi tai lipoksigenaasi) vaikutuksesta. Suurimmat ravitsemukselliset vaikutukset hapettumisella on lipidien degeneroituminen hydroperoksideiksi ja myöhemmin muodostuville karbonyyliyhdisteiksi, hydroksiyhdisteiksi ja lyhytketjuisiksi rasvahapoiksi. ²

Tölkittäminen aiheuttaa hiilihydraattien ja lipidien hydrolyysia, mutta nämä ravintoaineet jäävät silti purkkiin, joten ravintoarvot eivät heikkene. Proteiinien koaguloituminen purkikiruuissa aiheuttaa aminohappojen vähenemisen 10-20 %. Tryptofaanin menetys, ja metioniinin pienempi pitoisuus alentaa proteiinien biologista arvoa 6-9 %. Vitamiinihäviöt rajoittuvat suurimmaksi osaksi tiamiiniin (50-75 %) ja pantoteenihappoon (20-35 %). Taulukossa 3 nähdään vitamiinien häviö purkitetuissa ja pullotetuissa elintarvikkeissa. Taulukon arvoissa on myös huomioitu valmistusvaiheessa tapahtunut häviö. ²

Taulukko 3. Vitamiinien häviö purkitetuissa ja tölkitetyissä elintarvikkeissa. ²

Food	Häviö (%)								
	Carotene	Thiamin	Riboflavin	Niacin	Vitamin C	Pantothenic acid	Vitamin B ₆	Folacin	Biotin
Low acid food									
Carrots	0-9 (6)	67	38-60	32	75	54	80	59	40
Beef	-	67	100	100	-	-	-	-	-
Green									
beans	22-52	62	54-63	40	79	61	50	57	-
Mackerel	4	60	39	29	-	-	46	-	-
Milk	0	35	0	0	50-90	0	50	10-20	-
Mushrooms	-	80	46	52	33	54	-	84	54
Peas	0-30 (3)	75 (84)	47 (67)	71 (91)	67 (80)	80	69	59	78
Potatoes	-	56	44	56	28	-	59	-	-
Salmon	9	73	0	0	-	58	57	-	-
Spinach	0-32 (9)	80 (84)	45 (47)	50	72 (79)	78	75	35	67
Tomatoes	0 (2)	17 (22)	25 (59)	0	26 (26)	30	10	54	55
Acid food									
Apple	0-4	31	48	-	74	15	0		
Cherries (sweet)	41	57	64	46	68	-	6		
Peaches	65 (70)	49 (57)	39	39	56 (58)	71	21		
Pears	-	45	45	0	73	69	18		
Pineapple	25	7 (10)	30	0	57 (57)	12	-		

Sulkeissa olevat arvot ovat vitamiinien häviöitä 12 kuukauden varastoinnin (10-15 °C) jälkeen

3.5 Autoklaavin toimintaperiaate

Autoklaavin toiminta perustuu veden kiehumiseen normaalista poikkeavassa vesihöyryn paineessa joko korkeammassa lämpötilassa tai alemmassa lämpötilassa. Tällöin ko. laitteita nimitään em. periaatteen mukaisesti joko ylipaine- tai alipaineautoklaaveiksi, joista ylipaineautoklaavit ovat yleisempiä. Autoklaaveja voidaan jakaa myös pysty- eli vertikaalisiin tai vaaka- eli horisontaalisiin autoklaaveihin sekä vielä sen perusteella, miten ne liikkuvat. Tällöin autoklaavit erotellaan seisoviin ja liikkeellisiin autoklaaveihin. Oma erikoisryhmänsä on suurtuotantoautoklaavit, joita myös Oy Lunden AB Jalostajalla käytetään, jotka toimivat ylipaineperiaatteella ja ovat paineen, lämmön ja ajan suhteen automaattisesti säädeltävissä. ⁷

Oy Lunden AB Jalostajalla on käytössään 6 kappaletta Steriflow barriquand Roanne -autoklaavia. Autoklaaveja on kolmea erikokoista (Kuvat 1 ja 2). Jalostajalla käytetyt autoklaavit ovat staattisia panosautoklaaveja, jotka pysyvät paikallaan steriloinnin ajan, ja joiden täyttö ja tyhjennys tapahtuvat samasta ovesta. Steriflow autoklaaveja voidaan käyttää sterilointiin, pastörintiin ja keittämiseen (matalissa lämpötiloissa) melkein jokaiselle tuotteelle ja kaikilla pakkaus tavoilla. ¹³



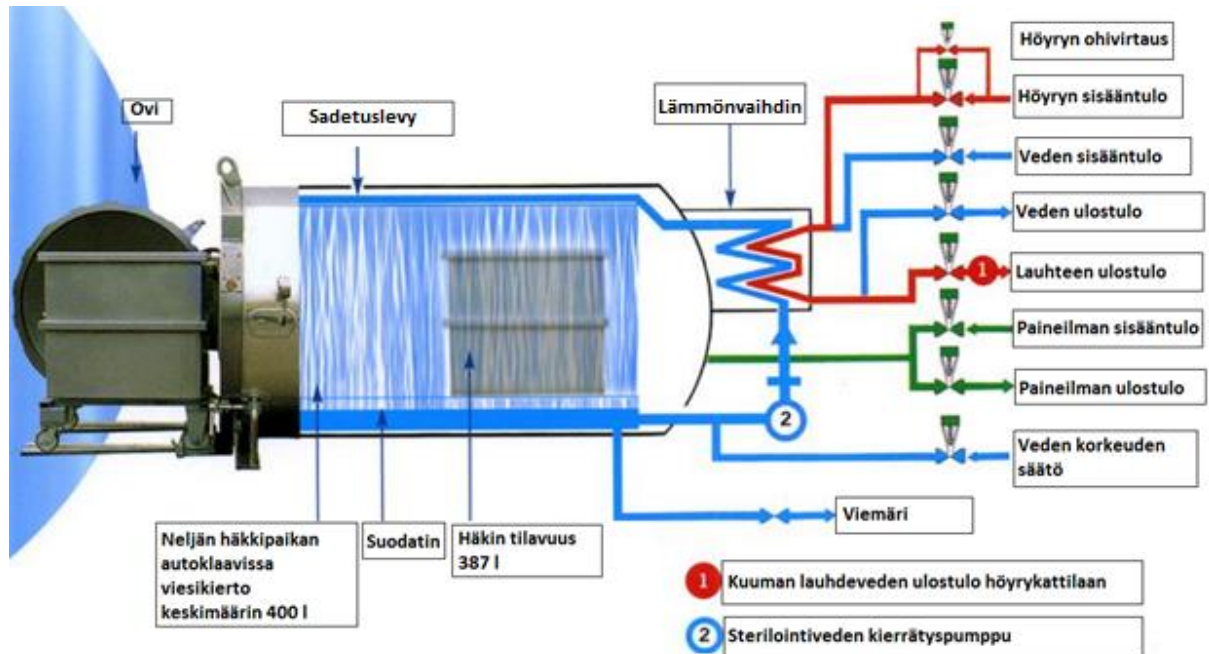
Kuva 1. Staattinen panosautoklaavi neljälle häkille.



Kuva 2. Staattinen panosautoklaavi viidelle ja kuudelle häkille.

Autoklaavien toiminta perustuu vedenkiertojärjestelmään, joka on jaettu kolmeen eri vaiheeseen: esilämmitykseen, sterilointiin ja jäähdytykseen (kuva 3). Jokaiselle tuotteelle on määritetty omat ohjelmansa, joita voidaan automaattisesti säädellä Steriflow autoklaaveihin kuuluvalla MPI-järjestelmällä. Esilämmityksessä vesi pumpataan lämmönvaihtimeen, jossa se kuumennetaan kuumen höyryn avulla. Lämmönvaihtimen toiminta perustuu siihen, että lämmönvaihtimen läpi kulkee metalliputki, jonka sisälle syötetään veden lämmitysvaiheessa kuumaa höyryä. Kuuma höyry lämmittää metalliputken, jonka kautta lämpöenergia johtuu veteen lämmittäen kiertävän veden. Sterilointivaiheessa vesi kierrätetään samalla tavalla kuin esilämmitysvaiheessa, mutta lämmönvaihtimen kautta

syötetty höyry on kuumempaa kuin esilämmitysvaiheessa. Jäähdytysvaiheessa lämmönvaihtimen kautta kulkevaan putkeen syötetään kylmää merivettä, joka jäähdyttää autoklaavissa kiertävän veden.



www.steriflow.com/en/solutions/static-steriflow ¹⁴

Kuva 3. Autoklaavin rakenne. ¹³

Vesi syötetään lämmönvaihtimesta paineen avulla sadetuslevyjien kautta häkkien päälle, josta se valuu tölkkien päälle johtaen lämpöenergian tuotteisiin. Kuvassa 4 esitetään sadetuslevyn toiminta. Autoklaavin pohjalle valunut vesi kierrätetään kierrätyspumppun avulla uudestaan lämmönvaihtimiin, josta se palautuu vedenkiertojärjestelmään.

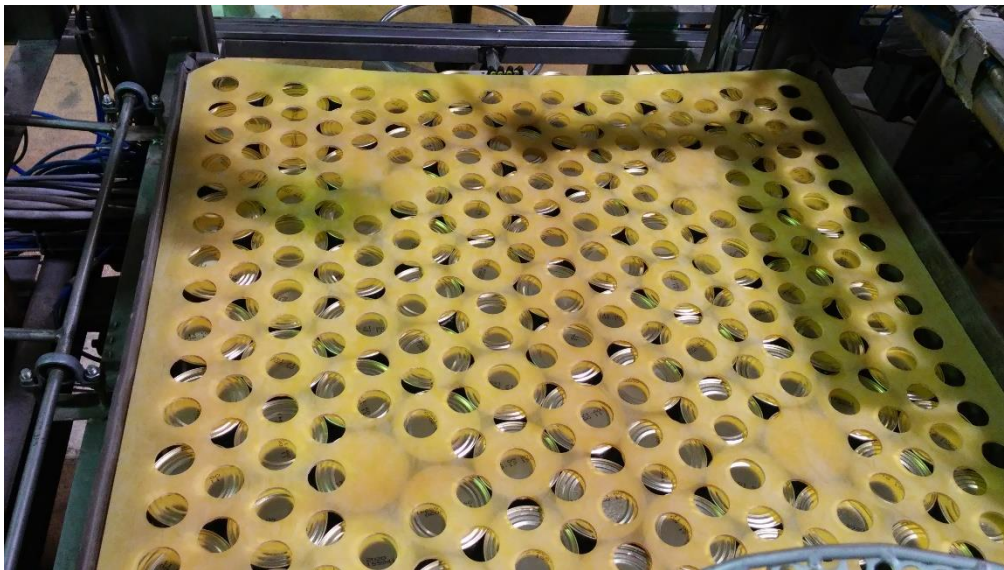
Häkkien kerrokset erotellaan muovilevyllä, joka on rei'itetty veden virtauksen parantamiseksi. Kuvassa 5 nähdään kerrokset jakava muovilevy. Veden käyttö metallitölkkien kanssa aiheuttaa korroosiota, joten Oy Lunden AB Jalostajalla veteen lisätään natriumnitriittiä (NaNO_2) korroosionestoaineena. ¹³

Lämpötilan lisäksi on toinen tärkeä parametri, joka vaikuttaa steriloinnin onnistumiseen, eli paine, joka mahdollistaa autoklaavin sisällä oleviin tuotteisiin muodostuttavan riittävän vastapaineen tölkkien muodon ylläpitämiseksi. Tämän takia tölkit jätetään täyttövaiheessa 6 % vajaiksi. Steriloinnin aikana tölkkeihin sisällä muodostuu kaasuja ja tuote

pyrkii lämpölaajentumaan, minkä seurauksena voi pakkauksessa tapahtua pullistumista. Yleisemmin metallitölkille riittää 1,5 barin vastapaine. ¹



Kuva 4. Sadetuslevyn toiminta. ¹⁴



Kuva 5. Rei'itetty muovilevy.

3.6 Mittalaitteisto

Oy Lunden AB Jalostajalla käytettiin SterilDisk-dataloggereita, joita on kolmea eri mallia. Oy Lunden AB Jalostajalla on käytössään kaksi eri mallia. Standard-malli, joka mittaa tölkin lämpötila keskiarvon (kuva 6) ja Probe-malli, jossa on 10 mm ulkoinen sensori (kuva 7).



Kuvat 6. Standard SterilDisk dataloggeri 7. Probe SterilDisk dataloggeri.¹³

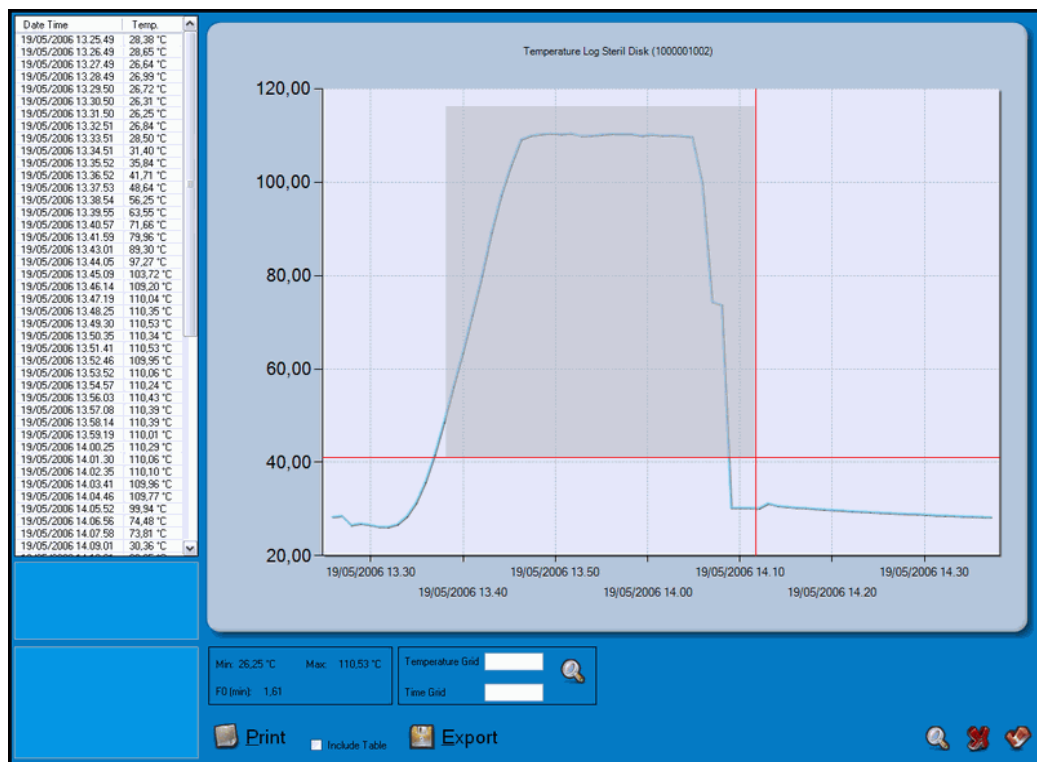
Dataloggereita voidaan käyttää lääketeollisuudessa ja sterilointiprosesseissa elintarviketeollisuudessa, jossa se mahdollistaa seuraamisen todellisesta tuotteesta eikä pelkästään ympäristöä, jossa se on valmistettu. Mittauksissa käytetyt dataloggerit olivat 36x18 mm:n kokoisia ja valmistettu ruostumattomasta teräksestä, ja niiden lämpötila-alue on -20 °C +140 °C.¹³

SPD-ohjelmisto on hallintaohjelma SterilDisk-dataloggereille. Tiedonanto laitteiden kanssa tehdään Disk Interface-lukijalaitteella (kuva 8), jonka avulla voidaan käynnistää loggerit ja ladata tiedot niistä. Tiedot näytetään kuvaajan avulla, ja ne voidaan siirtää suoraan exceliin.



Kuva 7. Disk Interface-lukijalaite.¹³

Ohjelmisto laskee automaattisesti prosessin f-arvot ja piirtää valmiin käyrän lämpötilan kehittymisestä mittausten aikana ja antaa lopullisen f-arvon tuotteelle. Kuvassa 9 tyypillinen SPD-ohjelmistosta saatava lämpötilakäyrä.



Kuva 8. SPD-ohjelmiston lämpötilakäyrä. ¹³

4 STERILOINTIPROSESSIN VEDEN VIRTAUSNOPEUDEN VAIKUTUS F-ARVOIHIN

Oy Lunden AB Jalostajalla suoritettiin opinnäytetyönä sterilointiprosessin optimointi vuonna 2012 (Virpi Laine, sterilointiprosessin optimointi). Mittaustulosten perusteella Oy Lunden AB Jalostajan laadunvalvonta, tuotekehitys, kunnossapito ja tuotanto -osastot yhdessä tekivät päätöksen, jonka seurauksena sterilointiaikaa lyhennettiin 20 min.

Sterilointiprosessin optimoinnin tarkoituksena oli taata tuotelaatu, nopeuttaa tuotannon läpimenoa sekä säästää energiankulutuksessa. Opinnäytetyössä määritettiin kaikille autoklaaveille niiden kylmimmät paikat, joiden mukaan mittaukset suoritettiin.

Mittausten aikana autoklaaveissa todettiin vedenvirtausongelmia, jonka johdosta autoklaavien pesuohjelmat sekä huolto- ja pesurytmit vaihdettiin. Tämän seurauksena suoritettiin vuonna 2014 opinnäytetyönä sterilointiprosessin optimoinnin tarkastus ja varmistus (Emilia Suvanto, sterilointiprosessin optimoinnin tarkastus ja varmistus). Työ tehtiin aikaisemmassa työssä määritettyjen kylmien paikkojen mukaan ja sen oli tarkoitus varmistaa tuoteturvallisuus tehtyjen muutosten jälkeen.

Aikaisempien opinnäytetöiden jälkeen autoklaaveihin on asennettu veden virtausmittarit, jotka näyttävät veden virtausnopeuden sterilointiprosessin aikana. Tämän seurauksena suoritettiin nyt veden virtausnopeuden vaikutuksesta F-arvojen kehittymiseen. Mittaukset suoritettiin vuonna 2012 opinnäytetyössä määritettyjen kylmien paikkojen mukaan, niin että jokaisesta autoklaavista mitattiin lähinnä ovea oleva häkki ja autoklaavin viimeinen häkki. Mittauksissa seurattavana parametrina oli F-arvo, joka kertoo autoklavoinnin suhteellisesta tehokkuudesta sekä autoklaavissa kiertävän veden virtausnopeuden vaihteluiden vaikutuksesta F-arvoon.

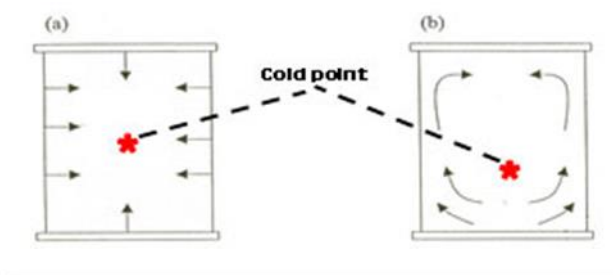
Mittauksissa käytettiin Probe SterilDisk-dataloggereita, joissa on ulkoinen sensori, ja jotka mittaavat tarkemmin tölkin lämpötilan kuin aikaisemmissa opinnäytetöissä käytetty standard SterilDisk-dataloggeri. Tämän takia vertailua aikaisempien opinnäytetöiden tuloksiin ei voida tehdä kuin ainoastaan yhden loggerin osalta, joka oli standard-malli, ja jota käytettiin vedellä täytetyssä tölissä, mittaamaan veden lämpötilan kehittymistä steriloinnin aikana.

4.1 Mittausten suoritus

Mittaukset suoritettiin Oy Lunden Jalostajalla kaikista kuudesta autoklaavista aikaisemmin määritettyjen kylmien paikkojen mukaan ja yhdessä laatupäällikkö Minna Uusitalon kanssa sovittujen määritelmien mukaisesti.

Oy Lunden AB Jalostajalla on käytössään kolme erikokoista autoklaavia, kutakin kaksi kappaletta. Kahteen isoimpaan autoklaaviin mahtuu 6 häkkiä, kahteen seuraavaan 5 häkkiä ja kahteen viimeiseen 4 häkkiä. Autoklaavit ovat halkaisijaltaan saman kokoisia, joten jokaisessa autoklaavissa voidaan käyttää samoja häkkeitä, ainoastaan autoklaavien pituus vaihtelee.

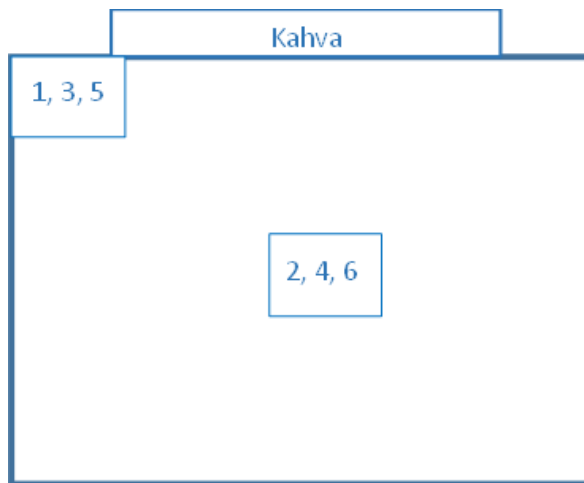
Mittaukset suoritettiin hernekeitolla, jonka tölkkikoko oli 73 x 109 mm ja paino 435 g. Loggerit laitettiin tölkkien pohjaan kaksipuolisella teipillä ennen kuin ne täytettiin hernekeitolla. Probe SterilDisk -dataloggerit mahdollistivat mittaamisen tölkkien kylmimmistä paikoista, koska niissä oli ulkoinen sensori ja ne olivat asetettu paikalleen tölkinpohjaan. Kuvassa 10 on kuvattu tölkkien kylmät paikat kiinteälle ja nestemäiselle tuotteelle.



www.fao.org/docrep/010/ai407e/ai407e22.htm

Kuva 9. Tölkkien kylmät paikat kiinteälle ja nestemäiselle tuotteelle.

Tölkkien täyttö ja kansitus tapahtuivat täyttökoneella, samaan tapaan kuin muillakin tuotannossa olevien hernekeittojen. Pakkauskoneella tölkit sijoitettiin häkkeihin, niille määrättyihin kylmiin paikkoihin. Loggereita laitettiin aina samaan häkkiin 6 kappaletta, joista viisi oli tuotteen joukossa ja yksi oli vedellä täytetyssä tölkissä, mittaamassa veden lämpötilan kehittymistä. Yhteensä häkkiin mahtuu 6 kerrokseen 630 tölkkiä ja kylmimmät paikat olivat alimmaisesta, 4. ja ylimmäisen kerroksen reunassa sekä keskellä. Pakkauskoneen jälkeen häkit laitettiin autoklaaveihin, jossa ne kävivät hernekeitolle määrätyn sterilointiohjelman läpi. Tämän jälkeen tölkit, joissa loggerit olivat, poistettiin hakeista ja tiedot purettiin SPD-ohjelmalla. Kuvassa 11 näkyy tölkkien sijoittelu häkissä.



Kuva 10. Loggereiden paikat häkissä, kuvattu ylhäältäpäin.

4.2 Mittausten tulokset

Mittaukset suoritettiin jokaisen autoklaavin ensimmäisestä ja viimeisestä häkistä. Mittausten tulokset F-arvojen osalta löytyvät liitteestä 1. Taulukoissa on punaisella merkitty häkkien kuumimmat kohdat ja sinisellä kylmimmät kohdat. Taulukoissa paikkaa 6 ei ole otettu huomioon merkinnöissä, koska sen avulla on mitattu veden lämpötilan kehitystä steriloinnin aikana. Liitteessä 2 nähdään loggerin antama veden lämpötilan kehittyminen steriloinnin aikana ja autoklaavin ohjelman piirtämän lämpötilan kehittymisen vertailukäyrä. Vertailukäyrästä voidaan todeta, että pieni ero tulee keittoajan päättymisen jälkeen. Loggerin antamassa käyrässä lämpötila laskee heti keittoajan jälkeen, kun autoklaavin piirtämässä käyrässä vasta kymmenen minuuttia keittoajan jälkeen. Muuten lämpötilan kehittämisessä ei ole havaittavia eroja. Sterilointiprosessista saadaan keittokäyrä lämpötilan ja paineen kehittämisestä ajan funktiona, joka on liitteestä 3. Keittokäyrästä nähdään, että paine nousee 1,5 bariin keittovaiheen alkaessa, jolloin saavutetaan sterilointilämpötila. Jäähdytysvaiheen alkaessa paine laskee, jonka seurauksena myös lämpötila laskee ja sterilointiprosessi on suoritettu loppuun.

Veden virtausnopeuden vaihteluiden määrittämiseen steriloinnin aikana, tehtiin kirjaukset virtausmittareiden lukemista 5 min välein. Kirjaukset tehtiin autoklaavien 3 ja 4 osalta. Taulukoissa 4 ja 5 nähdään kyseisten autoklaavien lämpötila, virtausnopeus ja F-arvo sterilointiprosessin aikana. Taulukoissa on merkitty eri värein prosessin kolme vaihetta. Punaisella esilämmitys, keltaisella sterilointi (keitto) ja sinisellä jäähdytys. Taulukoissa

näkyvyyttä mittauksen tulokset kuvassa 11 näkyvien paikkojen mukaan. Veden virtausnopeudesta on laskettu keskiarvo ja keskihajonta, joka näkyy taulukoissa.

Taulukko 4. Autoklaavin 3 lämpötila, virtausnopeus ja f-arvo.

55,16	2410	0	54,35	2410	0	56,75	2410	0	56,57	2410	0	56,84	2410	0
53,42	2390	0	52,69	2390	0	53,82	2390	0	53,9	2390	0	53,51	2390	0
51,75	2392	0	51,53	2392	0	52,46	2392	0	52,68	2392	0	51,98	2392	0
54,62	2397	0	55,31	2397	0	56,42	2397	0	57,37	2397	0	56,26	2397	0
63,7	2377	0	64,84	2377	0	65,64	2377	0	67,65	2377	0	65,92	2377	0
77,18	2371	0	78,49	2371	0	78,38	2371	0	80,99	2371	0	79,04	2371	0
88,88	2370	0	89,94	2370	0	89,47	2370	0	91,73	2370	0	90,18	2370	0
97,38	2366	0,01	98,12	2366	0,02	97,58	2366	0,01	99,34	2366	0,02	98,24	2366	0,02
103,32	2372	0,06	103,8	2372	0,07	103,34	2372	0,06	104,68	2372	0,09	103,89	2372	0,07
107,54	2371	0,21	107,82	2371	0,24	107,47	2371	0,21	108,49	2371	0,29	107,91	2371	0,24
110,57	2367	0,55	110,72	2367	0,59	110,46	2367	0,54	111,24	2367	0,69	110,82	2367	0,6
112,79	2363	1,15	112,89	2363	1,2	112,68	2363	1,13	113,26	2363	1,37	112,97	2363	1,23
114,47	2358	2,07	114,51	2358	2,14	114,36	2358	2,03	114,82	2358	2,38	114,6	2358	2,18
115,73	2364	3,35	115,74	2364	3,43	115,63	2364	3,28	115,98	2364	3,75	115,82	2364	3,5
116,67	2362	5	116,66	2362	5,07	116,59	2362	4,89	116,85	2362	5,47	116,74	2362	5,17
117,41	2360	6,98	117,38	2360	7,04	117,33	2360	6,84	117,53	2360	7,53	117,44	2360	7,18
117,98	2362	9,28	117,94	2362	9,32	117,9	2362	9,1	118,06	2362	9,88	117,99	2362	9,49
118,25	2357	11,84	118,17	2357	11,85	118,15	2357	11,61	118,19	2357	12,46	118,2	2357	12,04
116,1	2338	13,96	115,86	2338	13,9	115,82	2338	13,65	115,3	2338	14,4	115,73	2338	14,08
110,82	2380	14,87	110,49	2380	14,75	110,26	2380	14,48	109,16	2380	15,09	109,97	2380	14,87
103,33	2370	15,08	102,93	2370	14,94	102,37	2370	14,66	100,71	2370	15,22	101,83	2370	15,04
94,49	2366	15,11	94,12	2366	14,97	92,84	2366	14,68	91,01	2366	15,24	91,95	2366	15,06
90,89	2366	15,11	90,31	2366	14,98	88,69	2366	14,68	86,86	2366	15,24	87,66	2366	15,06
keskiarvo	2370,826087	L/min												
keskihajonta	15,16470835	L/min												

Taulukko 5. Autoklaavin 4 lämpötila, virtausnopeus ja f-arvo.

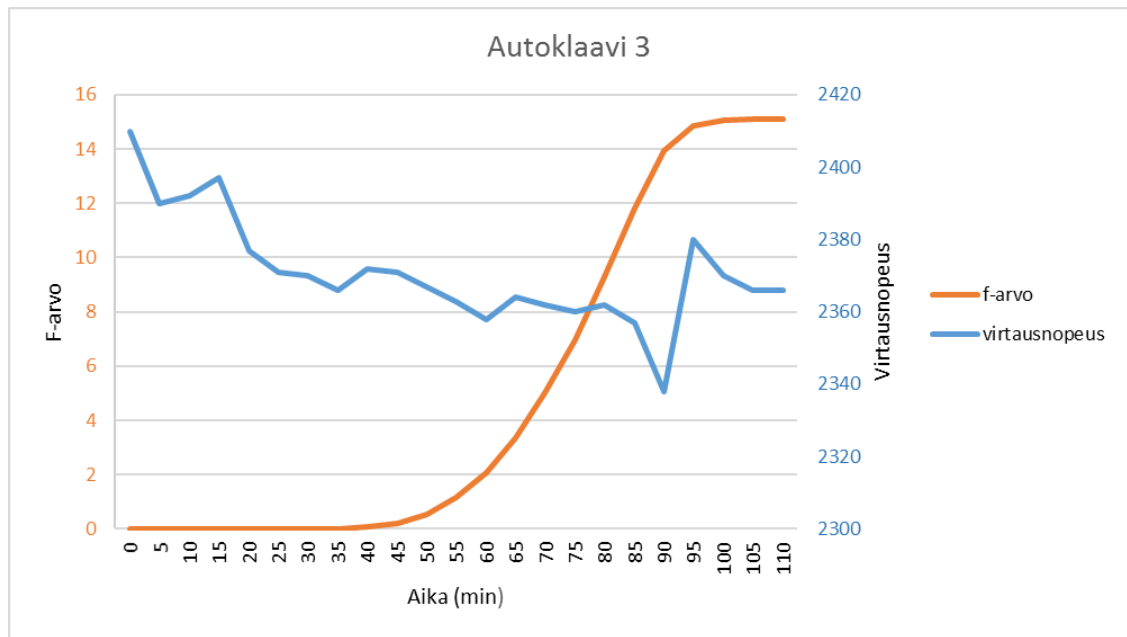
Lämpötila	Virtausnopeus	f-arvo	Lämpötila	Virtausnopeus	f-arvo	Lämpötila	Virtausnopeus	f-arvo	Lämpötila	Virtausnopeus	f-arvo	Lämpötila	Virtausnopeus	f-arvo
53,47	2680	0	52,85	2680	0	58,75	2680	0	59	2680	0	58,09	2680	0
52,25	2675	0	51,15	2675	0	56,68	2675	0	57,43	2675	0	55,31	2675	0
50,91	2665	0	49,72	2665	0	53,78	2665	0	54,55	2665	0	52,76	2665	0
54,37	2660	0	53,34	2660	0	57	2660	0	57,21	2660	0	56,56	2660	0
63,7	2665	0	63,03	2665	0	66,26	2665	0	66,11	2665	0	66,49	2665	0
77,13	2665	0	76,74	2665	0	79,74	2665	0	78,99	2665	0	79,79	2665	0
88,94	2662	0	88,7	2662	0	91,16	2662	0	90,32	2662	0	91,04	2662	0
97,28	2659	0,01	97,24	2659	0,01	99,27	2659	0,02	98,3	2659	0,02	99,01	2659	0,02
103,11	2660	0,06	103,24	2660	0,06	104,87	2660	0,09	103,9	2660	0,07	104,58	2660	0,09
107,31	2659	0,2	107,52	2659	0,21	108,8	2659	0,3	107,93	2659	0,24	108,55	2659	0,28
110,37	2648	0,52	110,62	2648	0,55	111,63	2648	0,74	110,88	2648	0,6	111,43	2648	0,7
112,67	2654	1,1	112,92	2654	1,16	113,71	2654	1,49	113,08	2654	1,24	113,55	2654	1,41
114,41	2657	2,01	114,65	2657	2,12	115,28	2657	2,61	114,74	2657	2,23	115,14	2657	2,5
115,74	2655	3,29	115,96	2655	3,47	116,47	2655	4,14	116	2655	3,59	116,35	2655	3,99
116,76	2653	4,95	116,95	2653	5,21	117,35	2653	6,07	116,97	2653	5,35	117,26	2653	5,88
117,55	2660	7	117,72	2660	7,34	118,03	2660	8,38	117,71	2660	7,48	117,97	2660	8,15
118,16	2654	9,38	118,31	2654	9,82	118,56	2654	11,02	118,29	2654	9,95	118,5	2654	10,75
118,42	2653	12,06	118,58	2653	12,58	118,7	2653	13,91	118,53	2653	12,69	118,67	2653	13,62
116,08	2650	14,22	116,26	2650	14,83	115,84	2650	16,1	115,9	2650	14,86	115,94	2650	15,83
110,84	2644	15,12	110,91	2644	15,76	109,68	2644	16,88	110,03	2644	15,67	109,87	2644	16,64
103,41	2625	15,33	103,38	2625	15,98	101,16	2625	17,03	101,86	2625	15,84	101,36	2625	16,79
94,64	2620	15,37	94,15	2620	16,01	91,1	2620	17,05	92,05	2620	15,86	91,32	2620	16,81
90,9	2620	15,37	90,16	2620	16,01	86,76	2620	17,05	87,77	2620	15,86	86,99	2620	16,81
keskiarvo	2654,043478	L/min												
keskihajonta	15,10411822	L/min												

5 TULOSTEN ANALYSOINTI

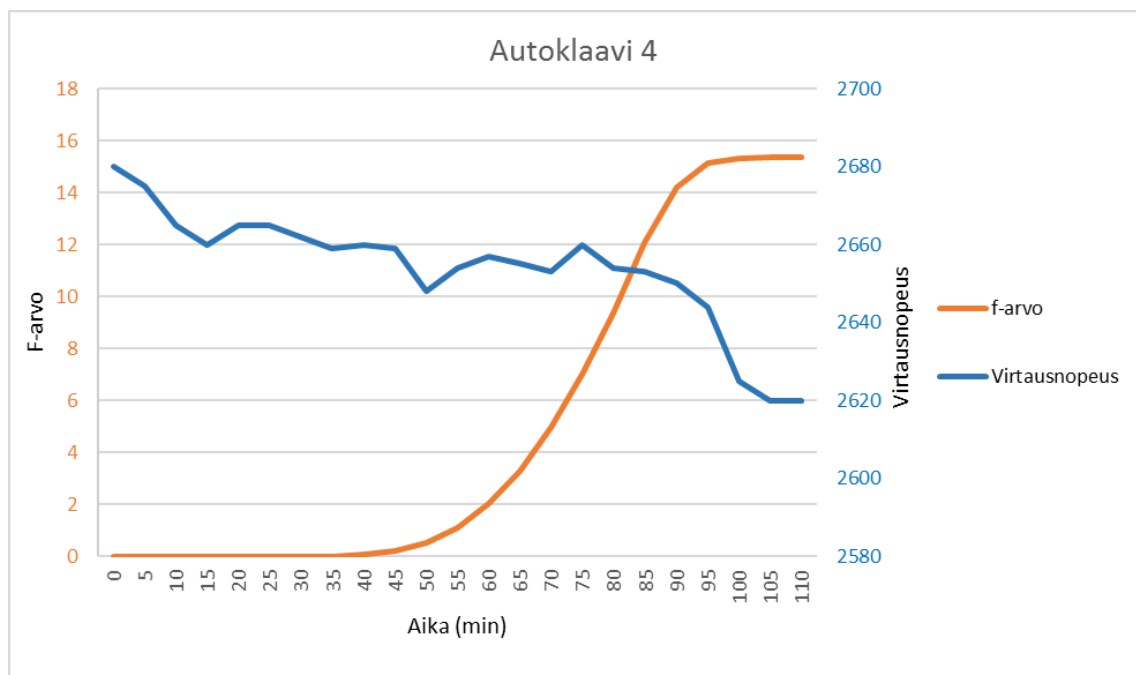
Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia veden virtausnopeutta ja F-arvon kehittymistä ottaen huomioon autoklaavien veden virtausnopeus. F-arvo mittauksissa käytetty Probe SterilDisk -dataloggeri antoi tarkemman mittaustuloksen kuin aikaisemmissa mittauksissa käytetty Standard SterilDisk -dataloggeri, joten vertailua ei tältä osin voida tehdä, koskien F-arvojen kehittymistä sterilointiprosessin aikana.

Liitteessä 1 nähdään kaikkien autoklaavien F-arvot, niiden ensimmäisessä ja viimeisessä paikassa. Tulokset osoittavat, että jokaisessa autoklaavissa saavutetaan haluttu F-arvo, sekä F-arvojen välillä ei ole suuria heittoja. Huomion arvoista on, että kylmimmät paikat ovat häkkien alaosassa, lukuun ottamatta klaavi 3 häkkiä 5 ja klaavi 2 häkkiä 1. Kuumimmat paikat taas sijaitsevat pääosin häkkien yläosassa, joten veden virtaaminen ja lämmön jakautuminen autoklaavissa ei tapahdu täysin tasaisesti, mutta koska F-arvojen erot olivat melko vähäisiä, niin voidaan todeta, että sterilointiprosessi toimii sille asetettujen tavoitteiden mukaisesti.

Autoklaaveihin asennettujen virtausmittareiden avulla saatiin tiedot sterilointiprosessin virtausnopeuksista ja niiden vaihteluista prosessin aikana. Taulukoista 4 ja 5 nähdään autoklaavien 3 ja 4 virtausnopeudet sterilointiprosessin aikana. Virtausnopeudet molempien autoklaavien osalta pysyivät tasaisina koko prosessin ajan, keskihajonnan ollessa 15 L/min. Kuviossa 6 ja 7 ovat virtausnopeudet ja F-arvot sterilointiajan funktiona.



Kuvio 6. Autoklaavin 3 virtausnopeudet ja F-arvot sterilointiajan funktiona.



Kuvio 7. Autoklaavin 4 virtausnopeudet ja F-arvot sterilointiajan funktiona.

Kaikkien autoklaavien mittausten tulokset osoittivat, että f-arvot nousevat vielä keittoajan jälkeen ja maksimi F-arvo saavutetaan vasta ennen steriloinnin loppua. Mutta kuten, liitteessä 1 nähtävät F-arvot osoittavat, niin sterilointi aikaa olisi mahdollista lyhentää ja

näin saada prosessia energiatehokkaammaksi. Sterilointiajan lyhentäminen auttaisi myös vähentämään kiirepäivinä autoklaaveihin muodostuvaa ruuhkaa ja näin ollen saataisiin tuotannosta tulevat tuotteet nopeammin eteenpäin etiköintiä varten. Hernekeiton osalta sterilointiprosessissa tapahtuu vielä hernekeiton kypsentymistä, joka voi olla esteenä prosessin lyhentämistä vastaan.

Virtausnopeuksien pienet vaihtelut sterilointiprosessin aikana eivät anna vastauksia F-arvojen kehittymisestä säilykkeissä prosessin aikana, eikä veden virtausnopeudelle pysty asettamaan raja-arvoja, mutta autoklaavit 3 ja 4 ovat samankokoisia ja niiden virtausnopeudet ovat kuitenkin erilaiset, niin tämä antaisi mahdollisuuden pienentää autoklaavin 4 virtausnopeutta autoklaavin 3 tasolle. Näiden autoklaavien F-arvojen osalta häkkien 1 erot ovat minimaaliset, mutta häkeissä 5 erot ovat suuremmat, joten autoklaavin 4 korkeammat F-arvot antaisi mahdollisuuden laskea sen veden virtausnopeutta. Suoraa vertailua ei voida kuitenkaan tehdä, koska kyseessä on eri autoklaavit. Muiden samankokoisten autoklaavien osalta veden virtausnopeuksissa ei ole mainittavaa eroa, joten samanlaista vertailua ei pystytä tekemään. Tarkempi raja-arvojen asettaminen veden virtausnopeuksille voidaan tehdä vasta, kun virtausnopeuksia saadaan muutettua ja pystytään tekemään mittauksia erilaisilla virtausnopeuksilla.

Työ sujui F-arvo mittausten suhteen aikataulussa ja tulokset osoittivat, että sterilointiprosessi toimii sille asetettujen tavoitteiden mukaisesti ja haluttu tuoteturvallisuus on saavutettu. Veden virtausnopeuksien kriittisiä pisteitä steriloinnin onnistumiseen ei pystytty määrittämään, ainoastaan virtausnopeuksien vaihtelut sterilointiprosessin aikana.

Huomioitavaa työn teoria osassa oli eri lähteiden ristiriitaiset tulkinnat F-arvon määrittämiseen eli 1 min lämmitys referenssi lämpötilassa (121,1 °C) vastaamaan F-arvoa 1. Toinen lähde antaa F-arvolle saman määrittäksen kuin thermal death time (TDT), joka on aika, joka tarvitaan täydelliseen mikrobipopulaation tuhoutumiseen, ja jota käytetään vertaillessa D-arvoja erilaisissa lämpötiloissa.

LÄHTEET

- 1 A.C. Hersom, E.D. Hulland (1980). Canned Foods. 7. edition.
- 2 Fellows P.J. (2000). Food processing technology, principles and practise. 2. edition. ss. 31-35, 40-44, 58-66, 222-223, 246, 250, 277
- 3 J.G. Brennan, J.R. Butters, N.D. Cowell ja A.E.V. Lilley (1990). Food engineering operations. 3. edition. ss. 266-267, 295-296
- 4 Heldman D., Hartel R. (1997). Principles of Food Processing. 1. edition. ss. 15-19, 24-26
- 5 <http://www.suomisanakirja.fi>
- 6 <http://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/lupa-kokata-elintarvikehygienian-perusteet/mikrobiologia/vesi>
- 7 Anna-Maria Saarela, Paula Hyvönen, Sinikka Määttä, Atte von Wright (2010). 3. painos. ss. 279-300.
- 8 Kenneth J. Valentas, Enrique Rotstein, R. Paul Singh. (1997). Handbook of food engineering practice. ss. 38-42, 45, 670-671,
- 9 <http://kehittyvaelintarvike.fi/teemajutut/38-veden-aktiivisuus-on-oleellinen-tekija-elintarvikkeiden-sailyvyydelle>
- 10 <http://www.solunetti.fi/fi/sanasto/m/>
- 11 http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=ltt00371
- 12 <http://tieteentermipankki.fi/wiki/Biologia:lepoiti%C3%B6>
- 13 http://www.tecnosoft.eu/prodotti.asp?callproduct=1&lsection=_engit&lang=_eng
- 14 <http://www.steriflow.com/en/solutions/static-steriflow>
- 15 https://books.google.fi/books?id=El1PAwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=principal+of+food+processing&hl=fi&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=principal%20of%20food%20processing&f=false
- 16 <http://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/keittio/ruuan-raaka-aineet/sailykkeet-ja-valmisruuat>

Autoklaavien F-arvot häkkipaikoittain

Auto- klaavi 1		Auto- klaavi 1		
Paikka	F-arvo, Häkki 1	Paikka	F-arvo, Häkki 4	Virtausnopeus L/min
1	X	1	X	2160
2	X	2	X	2160
3	X	3	X	2160
4	X	4	X	2160
5	X	5	X	2160
6	X	6	X	2160

Auto- klaavi 2		Auto- klaavi 2		
Paikka	F-arvo, Häkki 1	Paikka	F-arvo, häkki 4	Virtausnopeus L/min
1	X	1	X	2160
2	X	2	X	2160
3	X	3	X	2160
4	X	4	X	2160
5	X	5	X	2160
6	X	6	X	2160

Auto- klaavi 3		Auto- klaavi 3		
Paikka	F-arvo, Häkki 1	Paikka	F-arvo, Häkki 5	Virtausnopeus L/min
1	X	1	X	2370
2	X	2	X	2370
3	X	3	X	2370
4	X	4	X	2370
5	X	5	X	2370
6	X	6	X	2370

Auto- klaavi 4		Auto- klaavi 4		
Paikka	F-arvo, Häkki 1	Paikka	F-arvo, Häkki 5	Virtausnopeus L/min
1	X	1	X	2654
2	X	2	X	2654
3	X	3	X	2654
4	X	4	X	2654
5	X	5	X	2654
6	X	6	X	2654

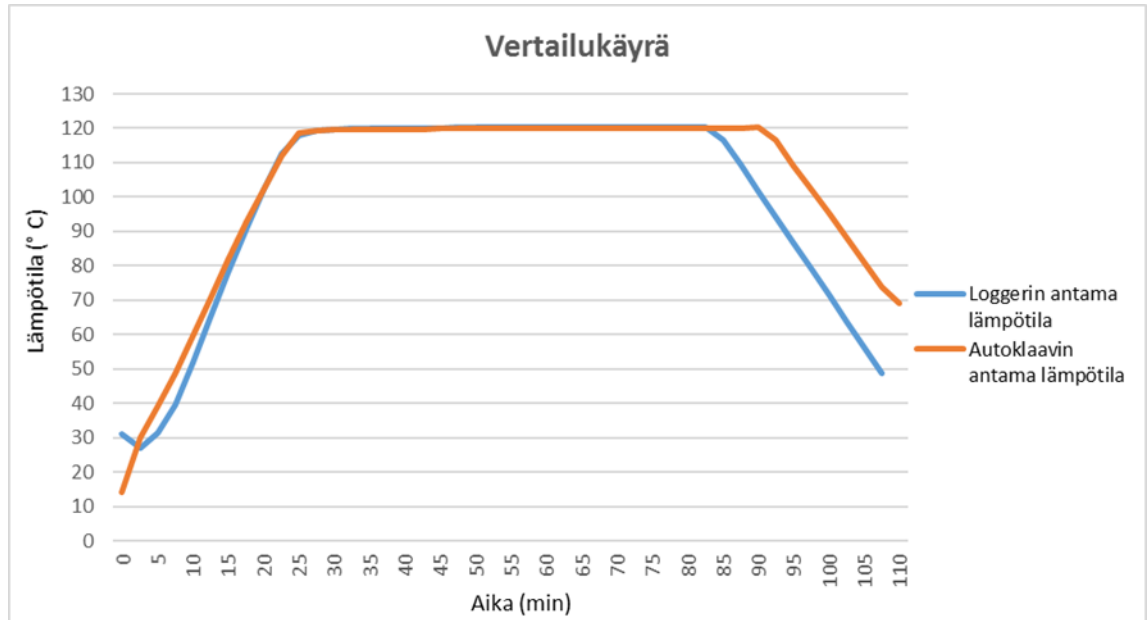
Auto-
klaavi 5Auto-
klaavi 5

Paikka	F-arvo, Häkki 1	Paikka	F-arvo, Häkki 6	Virtausnopeus L/min
1	X	1	X	2790
2	X	2	X	2790
3	X	3	X	2790
4	X	4	X	2790
5	X	5	X	2790
6	X	6	X	2790

Auto-
klaavi 6Auto-
klaavi 6

Paikka	F-arvo, Häkki 1	Paikka	F-arvo, Häkki 6	Virtausnopeus L/min
1	X	1	X	2778
2	X	2	X	2778
3	X	3	X	2778
4	X	4	X	2778
5	X	5	X	2778
6	X	6	X	2778

Dataloggerin ja autoklaavin ohjelman piirtämän lämpötilan kehittymisen vertailukäyrä



Keittokäyrä paineen ja lämpötilan kehittymisestä steriloinnin aikana

